

平成 22 年度研究チーム活動中間報告（第 1 回目）

「新発見された強相関物質における超伝導発現および金属絶縁体転移の機構解明」

№114 研究幹事 山崎 篤志 (理工学部)

〔研究の意義と研究の進捗状況〕

我々が研究の対象として選んだ強相関物質は、生活上、身の回りに多く存在している鉄や銅（金属の代表）やシリコン（半導体の代表）と比べて肉眼での見た目では大きく変わらないが、ミクロな原子構造からマクロな物理的性質（電気や熱の伝わり方など）まで数多くの点で劇的に異なっている。「強相関物質」という名前は、物質内部に無数に存在している電子どうしの相互作用（相関）が強い物質（銅やシリコンではこの相関は無視できるほど小さい）である事に由来する。主にエレクトロニクスの分野において、強相関物質群が現在の半導体や電線の代替物質として実用化された場合には、我々の日常生活が根底から変化する可能性がある。その代表的な例が、高温（とは言っても、一般的な感覚では極低温であるマイナス100°C以下）において発現する「超伝導」である。超伝導は、今から約100年前に見つかった物理現象であり、一般に物質中で電気抵抗がゼロになる現象を言う。これは超伝導になった物質を電力送電用のケーブルとして用いるとどんなに遠くまで電気を送っても、無駄な電気エネルギーの損失が起らないことを意味する。我々がよく知っている鉛や水銀も約マイナス266°Cとマイナス269°C（絶対温度で7ケルビンと4ケルビン）以下で超伝導状態になるが、強相関物質ではその温度は最高マイナス140°C（133ケルビン）にも達し、明らかに通常の金属とは異なる（室温で超伝導状態になる物質を創成することは、科学者の夢であり、目標である）。この高い超伝導転移温度は、強相関物質固有の特性であると考えられるが、なぜ超伝導温度が高いのか、どうすれば更に高くできるのか、という問いに対する答えは、数十年にわたる精力的な研究にも関わらず、未だ明らかではない。我々は、このような閉塞した研究状況を打破すると期待されている新しい新物質FeSeとTlFe₂Se₂を合成することに成功し、世界でも最高性能を誇る大型放射光施設SPring-8において軟X線（光子エネルギー＝数100電子ボルト）により固体表面付近から超伝導に寄与する電子を直接取り出す「光電子分光」実験を行ってきた。その後、更にエネルギーの高い硬X線（光子エネルギー＝8000電子ボルト）により固体の内部から電子を取り出し、観測する実験を行った。

光電子分光実験では、固体中から取り出した電子の運動量と運動エネルギーを測定し、電子が固体中にいたときの状態（電子状態）を明らかにすることができる。電子状態がわかれば、その物質がなぜ半導体になったのか、その半導体どのようなことをすると金属になるのか（例えば、圧力をかける、構成元素を別の元素で置き換える）などの知見に加えて、物質が超伝導になるときに2つの電子により造られるクーパ対がボーズ・アインシュタイン凝縮することによって形成されるエネルギーギャップの運動量空間における対称性も明らかになる。我々が2種類の異なる結晶構造を持つFeSeに対して得た実験結果からはFe（鉄）とSe（セレン）という2つの元素が特定の結晶構造の時のみ超伝導を発現し、結晶構造の変化に伴って電子構造が大きく変化していることが明らかになった。また、理論モデルとの比較や新たな計算により、新物質FeSeが近年発見された超伝導体の中で、どのようなグループに属し、位置づけができるかを考察した。その結果、FeとSeの原子間距離が比較的大きなFeSeでは、FeとSeの電子の軌道の重なりが小さくなり、その結果、電子の見かけの質量が通常の3.5倍に増加して固体中を動きにくくなり、超伝導になる温度が低く抑えられているという結論に至った。今後、FeとSeの原子間距離がFeSeと異なるTlFe₂Se₂について同様の解析を進め、超伝導になる温度の高い物質の創成のための方針を決定し、その方針に沿った物質を合成する。